

Ein Konzept zur dynamischen Annotation virtueller 3D-Stadtmodelle

Stefan Maaß, Jürgen Döllner

Zusammenfassung

Mit der zunehmenden automatisierten Herstellung und Verfügbarkeit virtueller 3D-Stadtmodelle ergibt sich eine wachsende Zahl von Anwendungsfeldern. Neben der Visualisierung klassischer Komponenten von Stadtmodellen – zum Beispiel Geländeoberflächen, Gebäude, Straßenraum-Elemente, Vegetation – spielt die Integration von Annotationen eine entscheidende Rolle, um die Darstellung dieser Modelle mit anwendungsspezifischen Daten, Hinweisen und Kommentaren zu erweitern und somit ihre fachspezifische Nutzung zu ermöglichen. Im einfachsten Fall kann dies zum Beispiel bedeuten, Gebäudemodelle einzeln zu beschriften. Der Beitrag charakterisiert Annotationen im Kontext virtueller Stadtmodelle und stellt ein Verfahren zur dynamischen objektintegrierten Annotation von Gebäuden vor.

1 Einleitung

Die adäquate Darstellung ergänzender oder zusätzlicher Informationen durch Beschriftungen und Symbole fand seit jeher besondere Beachtung in der Kartographie. Mit der zunehmend computergestützten Erstellung von Karten wurde auch eine Fülle von Verfahren für die automatisierte Platzierung und Ausrichtung dieser Elemente entwickelt (für eine Auswahl siehe zum Beispiel CHRISTENSEN et al. 1995). Neben den klassischen zweidimensionalen Darstellungen der Kartographie existieren auch für die Visualisierung von virtuellen 3D-Umgebungen eine Reihe von Anwendungen, die auf

die Anreicherung mit Annotationen angewiesen sind oder durch diese einen zusätzlichen Nutzen erhalten. So können auch in dreidimensionalen, technischen oder medizinischen Aufbaudarstellungen Objektteile um textuelle Beschriftungen oder Verweise auf eine Bildlegende ergänzt werden. Als eine weitere Anwendung ist die interaktiven Analyse von Messdaten mit räumlichem Bezug zu nennen (zum Beispiel computertomographische Aufnahmen von Motoren oder Windkanal-Daten von Flugzeugteilen), bei denen die Markierung und Kommentierung auffälliger Regionen durch Annotation erfolgt.

Auch in geovirtuellen Umgebungen existiert eine Reihe von Objekten, deren Darstellung mit zusätzlichen Informationen angereichert werden kann. Das hier vorgestellte Verfahren dient zur Annotation virtueller 3D-Stadtmodelle und integriert die Beschriftungen oder Symbole direkt in die Fassaden der Gebäude oder befestigt diese dort im 3D-Objektraum. Dadurch wird eine hohe räumliche und gestalterische Kohärenz mit dem annotierten Objekt gewährleistet. Besonderer Wert wird bei diesem Verfahren auf die dynamischen Aspekte gelegt, um zugleich eine zeitliche Kohärenz zu erzielen. Das Verfahren gewährt bei einer Interaktion des Benutzers weitgehend kontinuierliche Positionsänderungen der Annotationen.

2 Charakteristik von Annotationsverfahren

Annotationen werden in unterschiedlichen Anwendungskontexten für eine Vielzahl verschiedener Aufgaben eingesetzt. Bezüglich der graphischen Repräsentation lassen sich Annotationen auf zwei Arten in die Darstellung geovirtueller Umgebungen integrieren:

Deutsche Gesellschaft für Kartographie, Kartographische Schriften, Band 10: Aktuelle Entwicklungen in Geoinformation und Visualisierung. Beiträge des Seminars GEOVIS 2006, 5.–6. April 2006, Potsdam, 19–26

- *Annotation als Element des Bildraumes:* Eine Annotation wird als 2D-Element innerhalb des 2D-Bildraumes positioniert. Die Verbindung zum annotierten Objekt erfolgt durch Überlagerung oder wird durch graphische Hilfskonstrukte, wie zum Beispiel Verbindungslinien, hergestellt.
- *Annotation als Element der geovirtuellen Umgebung:* Eine Annotation wird durch ein zusätzliches dreidimensionales Szenenobjekt repräsentiert, das zusammen mit der Szenengeometrie projiziert wird. Die Verbindung zum annotierten Objekt wird hierbei durch die Einbettung (zum Beispiel in die Objektoberfläche) oder die räumlich nahe Positionierung der Annotation hergestellt.

Ansätze und Verfahren zur Annotierung virtueller 3D-Stadtmodelle und allgemein geovirtueller 3D-Umgebungen lassen sich anhand der folgenden Eigenschaften charakterisieren:

- *Form:* Annotationen besitzen im Allgemeinen keine natürliche visuelle Ausprägung, sondern müssen durch zusätzliche bildgebende Elemente kommuniziert werden.
- *Anordnung:* Die Anordnung der Annotationselemente muss gewährleisten, dass ein eindeutiger, visuell leicht erfassbarer Bezug zum annotierten Objekt durch den Betrachter hergestellt werden kann. Hierbei müssen insbesondere gegenseitige Überlagerungen der Annotationen und Verdeckungen durch Szenen-Objekte minimiert werden. *Interne Annotationen* sind direkt an der zu beschriftenden Stelle angebracht, wogegen *externe Annotationen* meist am Rand platziert werden und durch eine Verbindungslinie den Bezug zum annotierten Objekt herstellen.
- *Lesbarkeit:* Insbesondere bei Beschriftungen muss das Annotationsverfahren die Lesbarkeit der Annotation hinsichtlich Größe und Orientierung des Textes sicherstellen.
- *Skalierbarkeit:* Ein Verfahren muss es ermöglichen, eine Menge von Objekten gleichzeitig zu annotieren, wobei deren gegenseitiger Einfluss bzgl. Anordnung und Lesbarkeit berücksichtigt werden muss. Bei ausschließlicher Verwendung interner Annotationen ist eine einfache Form von Skalierbarkeit dadurch gegeben, dass nur die Annotationen für tatsächlich sichtbare (im Sichtkegel liegende) Objekte und Objekteile zu betrachten sind und dass sich durch die im Allgemeinen vorliegende Okklusion diese Menge noch weiter reduziert.
- *Dynamik:* Die interaktive Nutzung von virtuellen 3D-Stadtmodellen erfordert, dass die Platzierung der Annotationen zeitlich kohärent erfolgt, etwa stetige Übergänge bei der Veränderung der Betrachterperspektive. Insbesondere darf hierbei kein schneller, sprunghafter Wechsel der Annotationsposition geschehen, da sonst die Verfolgung der Annotationselemente durch den Benutzer erschwert wird.

Es existiert kein Annotationsverfahren, das alle genannten Kriterien für allgemeine virtuelle Umgebungen optimal erfüllt. Vielmehr muss jedes Annotationsverfahren dem verwendeten fachlichen Kontext und den quantitativen und qualitativen Anforderungen angepasst werden. Für interaktive Umgebungen, bei denen Zeit für zusätzliche Berechnungen nur begrenzt verfügbar ist, muss zudem die Laufzeitkomplexität des Verfahrens berücksichtigt werden. Allein das Finden optimaler überdeckungsfreier Positionen für eine Menge von Annotationen auf statischen Karten stellt ein NP-vollständiges Problem dar (MARKS und SHIEBER 1991).

3 Verwandte Arbeiten

Konzeptionell ist die direkte Integration zusätzlicher Informationen in ein 3D-Modell eng verwandt mit der Überlagerung von beschreibenden Texten über zugehörige Elemente eines Bildes (CHIGONA et al. 2001, CHIGONA und STROTHOTTE 2002). Während CHIGONA et al. jedoch, in Anlehnung an die natürlichen Sehgewohnheiten, zu kleine oder formkomplexe Bildbereiche zu passenderen Darstellungsflächen transformieren, verzichten wir auf solche Verzerrungstechniken, so dass die Gestalt der annotierten Objekte erhalten bleibt.

Für zweidimensionale Darstellungen, insbesondere in der Kartographie, werden Verfahren zur computergestützten oder vollautomatisierten Annotation seit längerem untersucht (CHRISTENSEN et al. 1995; EDMONDSON et al. 1996; EBNER et al. 2003). Die zunehmende Nutzung dreidimensionaler Darstellungsformen warf neue Fragestellungen auf und

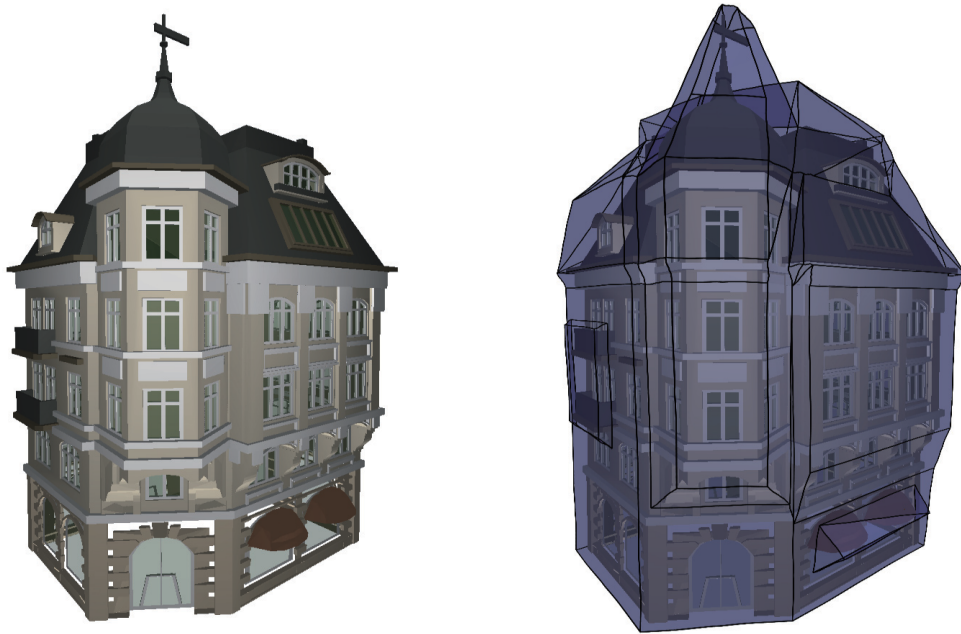


Abbildung 1 Gebäudemodell mit einfachem Grundriss, jedoch komplexer Fassaden- und Dachstruktur, ohne und mit generalisierter Hülle dargestellt

erweiterte die Palette denkbarer Einsatzgebiete. Durch die Möglichkeit der Interaktion in diesen Darstellungen (zum Beispiel Wechsel der Betrachterperspektive) wurde das Problem der Positionierung der Annotation erheblich komplexer. Erste Ansätze versuchten dies zu vereinfachen, indem auf der Bildebene ausgezeichnete Regionen zur Aufnahme der textuellen Beschreibungen reserviert wurden (PREIM et al. 1997).

Eine weitere Möglichkeit, die Komplexität dieser Aufgabe zu reduzieren, erreichte man durch die Nutzung des Objektschattens auf einer separaten Ebene (RITTER et al. 2003). Durch diese Vorgehensweise entstehen zusätzliche Referenzpunkte, die für die Annotation verwendet werden können. Beschränkt sich das Verfahren auf diese zusätzlichen Punkte und liegt zwischen Objekt und der zusätzlichen Illustrationsebene genügend Freiraum, so läßt sich die Anordnung der Annotationen auf ein zweidimensionales Problem zurückführen.

In den meisten Arbeiten steht die Annotation von zu einem einzelnen Objekt gehörenden Teilen im Vordergrund, das durch den Benutzer inspiziert

und teilweise auch exploriert (SONNET et al. 2004, HARTMANN et al. 2004) werden kann. Die virtuelle Begehung, also das Eintauchen des Nutzers in annotierte Informationsräume, erweitert die Problemstellung und stellt zum Teil andere Anforderungen an die Annotationsstrategie. So sind beispielsweise bei der Wegfindung in Stadtmodellen Annotationen anzutreffen, welche nicht direkt einem sichtbaren Objekt zugeordnet sind, sondern nur auf dessen Nähe hinweisen (zum Beispiel Tankstellen, Apotheken, Krankenhäuser). Zum anderen ist bei der virtuellen Begehung eines Stadtmodells die fortwährende Darstellung aller Annotationen meist unerwünscht und wird auf eine für die momentane Umgebung oder die zu lösende Aufgabe relevante Teilmenge reduziert.

Mit der Annotation von Stadtmodellen beschäftigt sich die Arbeiten von KOLBE (2004) und SCHULZ (2004). Im Gegensatz zu der in unserer Arbeit betrachteten Fragestellung werden dort Gebäude in aufgezeichneten Wegvideos mit Annotationen versehen, wobei für die Bestimmung der Positionen dreidimensionale Gebäudemodelle Verwendung

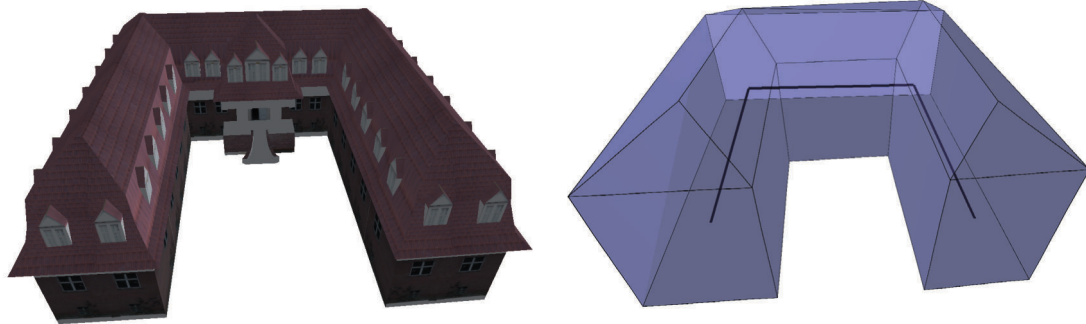


Abbildung 2 Gebäudemodell mit komplexerem Grundriss (links) und Hülle mit Skelett (rechts)

finden. Durch die Vorgabe der in den Videos gegebenen Wegstrecken ist eine freie Interaktivität hier nicht gegeben.

Die Arbeit von BELL et al. (2001) ist thematisch am engsten verwandt, da auch sie die dynamische Annotation von Gebäudemodellen behandelt. Die Projektion der Gebäudeumrisse wird dabei für die Überlagerung der Annotationen über sichtbare Bereiche des Gebäudekörpers genutzt und ermöglicht eine gute Positionierung bezüglich der Sichtbarkeit. Allerdings werden auch in dieser Arbeit die Annotationen nur als zweidimensionale Elemente der Bildebene aufgefasst.

4 Annotation virtueller 3D-Stadtmodelle

4.1 Datenstrukturen

Der Algorithmus für das hier vorgestellte Verfahren benötigt pro Gebäudemodell eine generalisierte Variante der Gebäudehülle und in seiner erweiterten Fassung auch ein Skelett des Gebäudegrundrisses. Die generalisierte Variante bildet eine Umhüllung (Abb. 1) des zu annotierenden Objektes. Sie dient dazu, den Einfluss der Detailgeometrie (zum Beispiel Balkone, Erker, Dachüberstände) eines Gebäudes auf die Positionierung der Annotation zu reduzieren, welche ansonsten Störeffekte verursachen würde. Zugleich wird der Berechnungsaufwand im Fall geometrisch detailreicher Gebäudemodelle verringert. Das Skelett findet Anwendung bei der Positionierung von Annotationen im Fall komplexer Gebäudegrundrisse (Abb. 2).

In Bezug auf Form und Anordnung verwendet unser Ansatz *objektintegrierte Annotationen*, die direkt an den Fassaden der Gebäudemodelle angebracht werden. Eine einzelne Annotation wird geometrisch durch eine rechteckige Fläche, analog zu einem Schild, repräsentiert, auf der Text oder beliebige Bilddaten (zum Beispiel Logos oder Symbole) aufgebracht werden können.

4.2 Überblick über das Verfahren

Das Verfahren positioniert die Annotationen der Szene unabhängig voneinander und lässt sich algorithmisch in drei Schritte unterteilen (Abb. 3): Für das Zentrum jedes Annotationselementes wird zunächst ein Punkt am Objekt bestimmt, an dem die Annotation befestigt wird. Anschließend wird sie so ausgerichtet, dass sie in die Fassade integriert und dem Betrachter möglichst zugeneigt erscheint. Da dies eine Kollision der Annotation mit dem Gebäudekörper verursachen kann, ist ein zusätzlicher Schritt notwendig, in dem diese Kollisionen erkannt und wenn nötig aufgelöst werden.

4.3 Berechnung des Befestigungspunktes

Für die Bestimmung des Befestigungspunktes wurden zwei Strategien implementiert. In der ersten Variante werden ein Strahl von der Position des Betrachters zum Zentrum der Annotationshülle ausgesendet und der erste Schnittpunkt dieses Strahls mit der Hülle bestimmt. Dieser Punkt wird für die Befestigung der Annotation genutzt. Für einfache Haustypen, mit annähernd quadratischem Grundriss, ist diese Technik meist ausreichend. Um

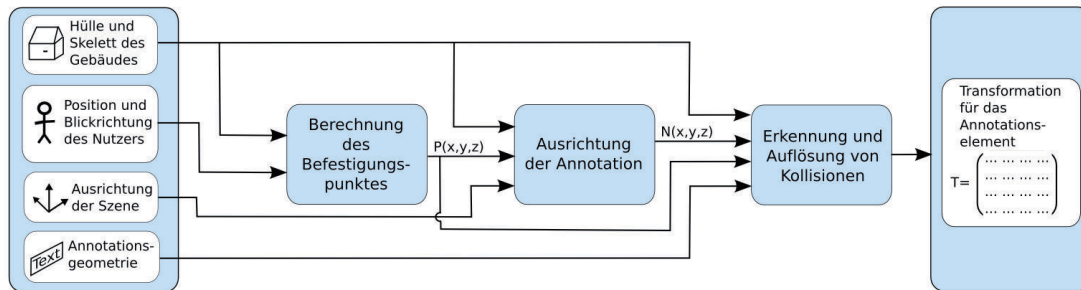


Abbildung 3 Übersicht über die einzelnen Schritte des Verfahrens

die Positionierung der Annotation stärker auf den Sichtbereich des Betrachters zu fokussieren, kann, zum Beispiel für Szenarien, in denen der Nutzer als Fußgänger interagiert, der Zielpunkt innerhalb der Annotationshülle auf Augenhöhe fixiert werden (Abb. 4).

Für Gebäude mit komplexeren Grundrissen wird diese Strategie erweitert, wofür ein Skelett des Hauses erstellt wird, welches die Struktur des Grundrisses wiedergibt. Verfahren zur Erzeugung eines solchen Skelettes sind zum Beispiel aus dem Bereich der automatisierten Erzeugung von Dachgeometrien aus Grundrissen bekannt (AICHOLZER et al. 1995, FELKEL und OBDRMALEK 1998). Die Position zur Befestigung der Annotation wird im Anschluss dadurch bestimmt, dass zunächst der Punkt auf dem Skelett bestimmt wird, der die geringste Distanz zum Sehstrahl im mittleren Blickfeld des Betrachters besitzt. Nun wird, wie in der ersten Technik, ein Strahlschuss vorgenommen. Ziel ist diesmal allerdings nicht das Zentrum der Annotationshülle, sondern der soeben bestimmte Punkt auf dem Skelett. Um den Einfluss des Betrachters auf die Positionierung der Annotation zu erhöhen, lässt sich auch hier eine Verankerung des Skelettes auf Augenhöhe vornehmen.

4.4 Ausrichtung der Annotation

Die noch offenen Freiheitsgrade des Beschriftungsrechtecks erlauben noch die Ausrichtung, also die Rotation der Annotation im Befestigungspunkt. Für diese Aufgabe werden die in der Umgebung liegenden Normalen der Annotationshülle genutzt. In einem gewissen Umkreis des Fixierungspunktes werden diese gewichtet aufsummiert. Damit die

Annotationsschilder sich an den Gebäudekanten stetig aus einer Fassade lösen, sich um die Kante bewegen und in die angrenzende Fassade einpassen können, sind die Normalen benachbarter Flächen mit einzubeziehen, wenn sich die Annotation einem solchen Bereich nähert. Das Annotations-element wird anschließend so ausgerichtet, dass seine Flächennormale mit der ermittelten Richtung übereinstimmt.

4.5 Erkennen und Auflösen von Kollisionen

Die im Fixierungspunkt verankerte Annotation kann nach ihrer Orientierung den Gebäudekörper schneiden, so dass diese sich teilweise im Inneren befindet und damit nicht vollständig sichtbar ist (Abb. 5). Um dies zu vermeiden, müssen diese Kollisionen erkannt und aufgelöst werden.

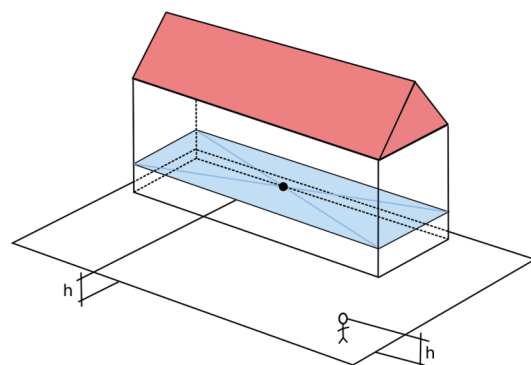


Abbildung 4 Fixierung des Objektzentrums auf Augenhöhe

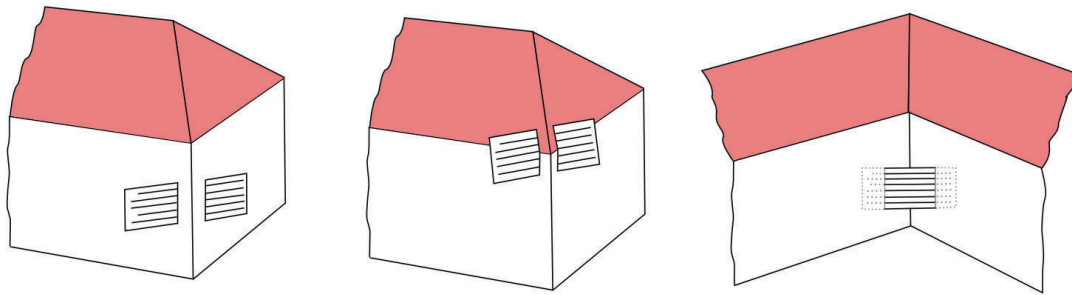


Abbildung 5 Verschiedene Typen von Kollisionen zwischen Annotation und Gebäudekörper

4.5.1 Kollisionsauflösung im Bildraum

Mit einer einfachen Bildraumtechnik lässt sich das Eindringen der Annotationen in den Gebäudekörper verhindern, wozu allerdings eine Sortierung der Szenenelemente (ohne Annotationen) bezüglich ihrer Entfernung zur Kamera notwendig wird. Beginnend mit dem entferntesten Element, werden diese entsprechend ihrer Tiefensortierung gezeichnet (FUCHS et al. 1980). Stößt man bei diesem Prozess auf ein annotiertes Element, so wird die Annotation im Anschluss an das Referenzobjekt dargestellt. Für die Annotation bleibt dabei allerdings der z-Buffer-Test ausgeschaltet, so dass eine möglicherweise auftretende Verdeckung durch das Gebäude ausbleibt.

4.5.2 Kollisionsauflösung im Objektraum

Für Szenen mit höherer Komplexität ist eine effiziente und eindeutige Vorsortierung nicht immer möglich. Für diesen Fall können im Objektraum die Kollisionen erkannt und aufgelöst werden. Für das Rechteck der Annotation wird hierzu eine Ebene im Raum aufgespannt und auf Schnitte mit der Annotationshülle hin untersucht. Treten diese Schnitte innerhalb der Grenzen der Annotationsfläche auf, so wird diese entlang ihrer Ausrichtungsnormale verschoben, bis die Kollision sich auflöst. Da für die Schnitt-Tests nur die Polygone des vereinfachten Hüllenmodells verwendet werden, bleibt der Berechnungsaufwand für diesen Teil des Verfahrens vernachlässigbar. Bei Bedarf können die Schnitt-Tests durch die Eingrenzung auf wenige Polygone mit Hilfe von Raumunterteilungen (MING und MANOCHA 2003, BERGEN 2004) beschleunigt werden.

5 Fallstudie und Ergebnisse

Das Verfahren wurde mit einer Reihe von einzelnen Gebäuden innerhalb des 3D-Campus-Modells unseres Instituts getestet (Abb. 6). Annotations-schilder eignen sich besonders für die auf dem Campus-Modell verteilten Gebäudemodelle aufgrund der vorherrschenden planaren Flächen. Die geometrische Freistellung der Schilder bietet einen guten Kompromiss zwischen Wahrnehmbarkeit und nahtloser Integration. Um die Verdeckung von Gebäudeteilen durch die Annotationen abzuschwächen, können diese auch transparent gestaltet werden. Im Vergleich zu bildraumbasierten Annotationen verringert sich die Lesbarkeit der Beschriftungen aufgrund der perspektivischen Darstellung als Teil der Szenengeometrie. Dies ist in unserem Anwendungsfall unkritisch, da der Benutzer die Annotationen als zusätzliches Informationsangebot wahrnimmt und sich bei Bedarf schnell zu einer Position begeben kann, die bessere Lesbarkeit bietet.

Eine Stärke objektintegrierter Annotationen ist, dass sie zu den Gebäudeteilen direkt zugeordnet werden können. Im Unterschied zu den Referenzlinien von externen Labeln oder den zweidimensionalen Überlagerungsflächen von internen Labeln kommunizieren die Schilder ihre Gültigkeitsbereiche während der Interaktion des Nutzers mit der virtuellen Umgebung. Somit kann vom Nutzer unterschieden werden, ob das ganze Gebäude, nur ein Gebäudeteil oder nur eine Fassade von der Annotation referenziert wird. Ein weiterer Vorteil von objektintegrierten Annotationen ist die Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Bildraumes,

ein Aspekt, der bei der Verwendung mobiler Navigationsgeräte mit kleinen Displays besonders an Bedeutung gewinnt.

Während der Interaktion des Benutzers bewegen sich die Annotationen weitgehend stetig über die Gebäudeoberflächen. Bei der Verwendung eines Gebäudeskelettes kann es jedoch zu Sprüngen kommen, wenn das Segment wechselt, das die kleinste Distanz zum Sehstrahl aufweist. Eine Nachführung auf der Gebäudeoberfläche zur neuen Position würde dieses Problem beheben, ist allerdings mit zusätzlichem Berechnungsaufwand für die Bestimmung des Pfades verbunden. Da sich über die Form der Annotationshülle eines Gebäudes die Befestigung und Ausrichtung der Annotation steuern lässt, ergibt sich hier ein Gestaltungsfreiraum. So können zum Beispiel sehr kantige Gebäude mit einer abgerundeten Hülle versehen werden. Weicht die Hülle jedoch zu sehr vom referenzierten Objekt ab, leidet die Zuordnung darunter.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Objektintegrierte Annotationen eignen sich in geovirtuellen Umgebungen insbesondere dann, wenn der Nutzer die Perspektive eines Fußgängers einnimmt. Die Annotationen werden dabei zum

Teil wie „gewöhnliche“ Schilder wahrgenommen, einzig mit dem Unterschied, dass diese sich an der Fassade bewegen. Die generelle Tauglichkeit des Verfahrens nimmt jedoch mit dem Übergang in eine Vogelperspektive ab. Problematisch sind dabei Gebäude mit Flachdächern. Zum Teil lässt sich dies mit leicht veränderten Hüllenformen ausgleichen, generell ist hierfür jedoch nach einem Übergang zu einer dafür angepassten Annotationstechnik zu suchen. Die Anzahl der darzustellenden Annotationen ist verfahrensimmanent durch die sichtbaren annotierten Objekte definiert. Hierfür können bekannte View-Frustum-Culling-Techniken (CLARK 1976) eingesetzt werden. Eine offene Frage ist, wie annotierte, aber nur „beinahe sichtbare“ Objekte repräsentiert werden können.

Die Implementierung wird derzeit um ein automatisches Verfahren ergänzt, dass die notwendigen Eingangsdaten, wie zum Beispiel generalisierte Gebäudehülle und Gebäudeskelett, aus vorhandenen virtuellen 3D-Stadtmodellen extrahiert. Das Verfahren kann in Hinblick auf Nicht-Fußgänger-Szenarien erweitert werden. Hierbei muss verstärkt auf die Verdeckung von Annotationen durch Gebäude und andere Annotationen geachtet werden. Darüber hinaus kann das Verfahren um nicht-objektintegrierte Annotationen ergänzt werden, die



Abbildung 6 Objektintegrierte Annotationen in einem virtuellen 3D-Campus-Modell

bei Bedarf, zum Beispiel bei Überblicksansichten, alternativ verwendet werden. Außerdem können Level-of-Detail-Verfahren die Darstellung der Annotationen verbessern, die hierzu an verschiedenen Stellen des Verfahrens integrierbar sind.

Literatur

- AICHHOLZER, O, AURENHAMMER, F, ALBERTS, D, GARTNER B (1995): A novel type of skeleton for polygons. *Journal of Universal Computer Science*, 1(12), 752–761.
- BELL, B, FEINER, St, HÖLLERER, T (2001): View management for virtual and augmented reality. In: *Proceedings of the 14th Annual ACM Symposium in User Interface Software and Technology*, 101–110.
- BERGEN, G (2004): *Collision detection in interactive 3D environments*. Morgan Kaufmann Publishers, Oxford.
- CHIGONA, W, SCHLECHTWEG, S, THOMAS, S (2001): Dual use of image space: the challenges of explaining visualizations from within. In: SCHULZE, T, SCHLECHTWEG, S, HINZ, V (Eds), *Simulation und Visualisierung 2001*, SCS-Society for Computer Simulation Int., Delft, 175–185.
- CHIGONA, W, STROTHOTTE, T (2002) Distortion for readability of contextualized text explanations. In: *Proceedings of IEEE International Information Visualization 2002*, London, 289–294.
- CHRISTENSEN, J, MARKS, J, SHIEBER, S (1995): An empirical study of algorithms for point-feature label placement. *ACM Transactions of Graphics*. (Jul. 1995), 14(3), 203–232.
- CLARK, J H (1976): Hierarchical geometric models for visible surface algorithms. *Communications of the ACM*, 66, 547–554.
- EBNER, D, KLAU, WK, WEISKIRCHER, R (2003): Force-based label number maximization. Technical Report TR-186-1-03-02, Technische Universität Wien, Juni 2003 <http://www.apm.tuwien.ac.at/publications/bib/pdf/ebner-03.pdf>
- EDMONDSON, S, CHRISTENSEN, J, MARKS, J, SHIEBER, SM (1996): A general cartographic labeling algorithm. *TR1996-004*, *Cartographica*, 33(4), 13–23, <http://www.merl.com/publications/TR1996-004/>
- FELKEL, P, OBDRMALEK, S (1998): Straight skeleton implementation. In: *Proceedings of the 14th Spring Conference on Computer Graphics*, Budmerice, Slovakia, 210–218.
- FUCHS, H, KEDEM, ZM, AND NAYLOR, BF (1980): On visible surface generation by a priori tree structures. *Computer Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH 80)*, 14(3), 124–133.
- HARTMANN, K, ALI, K, STROTHOTTE, T (2004): Floating labels: applying dynamic potential fields for label layout. In: *Lecture Notes in Computer Science*, Volume 3031, 101–113.
- KOLBE, TH (2004): Augmented videos and panoramas for pedestrian navigation. In: *Proceedings of the 2nd Symposium on Location Based Services and TeleCartography*.
- LIN, M, MANOCHA, D (2003): Collision and proximity queries. In: *Handbook of Discrete and Computational Geometry*.
- MARKS, J, SHIEBER, S (1991): The Computational complexity of cartographic label placement. *Advanced Research in Computing Technology*, Technical Report TR-05-91, Harvard University, March 1991.
- PREIM, B, RAAB, A, STROTHOTTE, T (1997): Coherent zooming of illustrations with 3D graphics and textual labels. In: *Proceedings of Graphics Interface*, 105–113.
- RITTER, F, SONNET, H, HARTMANN, K, STROTHOTTE, T (2003): Illustrative shadows: integrating 3D and 2D information displays. In: *Proceedings of the 8th International Conference on Intelligent User Interfaces 2003*, Miami, Florida, 166–173.
- SCHULZ, D (2004): 3D-Beschriftung im Objektraum für die videobasierte Fußgängernavigation. Diplomarbeit, Universität Bonn, Institut für Kartographie.
- SONNET, H, CARPENDALE, S, STROTHOTTE, T (2004): Integrating expanding annotations with a 3D explosion probe. In: *Proceedings of the Working Conference on Advanced Visual Interfaces*, Gallipoli, Italy, 63–70.